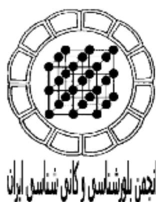
مجله
بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیست و هفتم، شمارهٔ اول، بهار ۹۸، از صفحهٔ ۴۷ تا ۵۴




# کانی‌شناسی و ویژگی‌های آگات معدن بایگ در تربت حیدریه، شمال شرق ایران

**الناز جامی الاحمدی*، ایرج رساء، فریبرز مسعودی، نیلوفر موسوی پاک**

*مرکز گوهرشناسی، دانشگاه شهید بهشتی تهران*

(دریافت مقاله: ۹۶/۱۲/۸، نسخه نهایی: ۹۷/۳/۱۹)

**چکیده:** آگات که در زبان فارسی عقیق نامیده می‌شود، یکی از سنگ‌های نیمه قیمتی فراوان ایران است که از معدن آگات بایگ در شمال غرب تربت حیدریه استخراج می‌شود. تعیین کانی‌شناسی آگات برای انتخاب روش مناسب تراش و بهسازی دارای اهمیت است. از این رو در این پژوهش کانی‌شناسی آگات‌های معدن بایگ با استفاده از بررسی‌های میکروسکوپی تصاویر، میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف‌سنجی لیزر رامان بررسی شد. از نظر کانی‌شناسی، کلسدونی به‌عنوان کانی اصلی آگات معرفی می‌شود. اما بررسی‌ها نشان داد که کانی‌های آگات‌های معدن بایگ به ترتیب فراوانی اوپال، کلسدونی و موگانیت هستند. در نمونه‌های دستی کانی کلسدونی سفید و شیری‌رنگ و کانی اوپال خاکستری تا تیره است. مقادیر عناصر Al و Na و Ba و Sr برآمده از تجزیه طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) بخش‌های تشکیل شده از اوپال نشان داد که سیال‌های جوی، گرمابی و فرایند آذرین در شکل‌گیری اوپال‌ها نقش داشته‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** *آگات؛ کلسدونی؛ اوپال؛ معدن بایگ؛ تربت حیدریه.*

## مقدمه

آگات با معادل فارسی عقیق، یکی از کانی‌های نیمه‌قیمتی فراوان است، که در بخش‌های مختلف ایران یافت می‌شود. آگات‌های معادن مختلف دارای تنوع رنگی و کیفیت‌های متفاوت هستند و گاه در یک معدن انواع متفاوت آگات دیده می‌شود. در منابع علمی کانی اصلی سازنده آگات کلسدونی معرفی شده است [۱-۵]. کلسدونی نوع بسیار نهان‌بلور کوارتز است که ممکن است مقدار محدودی معمولا ۱ تا ۲ درصد، آب در ساختار آن وجود داشته باشد [۶]. مقدار آب محدود و تغییرات کم در این کانی نمی‌تواند تنها عامل ایجاد کننده تنوع زیاد آگات‌ها باشد؛ برخی تنوع در ترکیب شیمیایی آگات و تشکیل لایه‌بندی‌های مختلف در آن را نتیجه تغییر در ترکیب شیمیایی محلول سازنده آن می‌دانند [۷]. برای شناخت علت این گوناگونی لازم است بررسی‌های ساختاری و کانی‌شناسی بر انواع متفاوت این سنگ انجام شود. بهسازی آگات از سالیان دور متداول بوده است و انتخاب روش مناسب بهسازی نیازمند شناخت کانی‌شناسی و تعیین فازهای کانیایی آگات است.

معدن آگات بایگ در شمال غرب شهرستان تربت حیدریه در شمال شرق ایران یکی از مهم‌ترین معادن در نوع خود در استان خراسان رضوی است. آگات‌ها در این معدن فعال دارای تنوع رنگی از سفید و شفاف تا خاکستری و تیره با بافت‌های نواری و توده‌ای بوده و در حال استخراج هستند. این تنوع باعث انتخاب نمونه‌های این معدن برای بررسی تنوع کانی‌شناسی آگات‌ها در این پژوهش شد. بر نمونه‌های انتخابی بررسی‌های میکروسکوپی، گوهرشناسی، تراش پذیری و آزمایش‌های رامان، تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف-سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP - MS) انجام شد.

## روش کار

از میان آگات‌های منطقه بایگ تربت حیدریه، تعداد ۱۳ نمونه برای بررسی‌های میکروسکپی و ساختاری انتخاب شده و مقاطع نازک تهیه شده توسط میکروسکوپ قطبشی بررسی شدند. آزمایش‌های گوهرشناسی بر روی پنج نمونه با رنگ‌های

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۹۷۳۱۹۲۴۹ ، نمابر: ۰۲۱۲۲۴۲۳۱۶۹۰ ، پست الکترونیکی: elenajami69@gmail.com



[ DOI: 10.29252/ijcm.27.1.47 ]

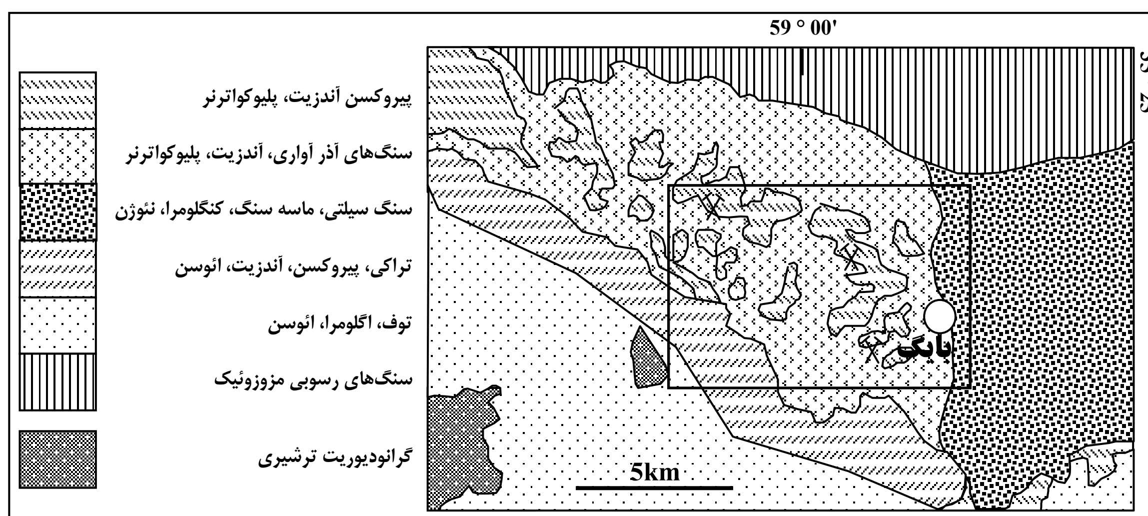
متفاوت که تراش دامله داده شده بودند، انجام شد. از نمونه‌های برگزیده، یک نمونه برای طیف‌سنجی رامان، یک نمونه برای تجزیه به روش ICP-MS و دو نمونه نیز برای تصویربرداری SEM انتخاب شدند. آزمایش‌های ICP-MS در آزمایشگاه زرآزما و سایر آزمایش‌ها در دانشگاه شهید بهشتی انجام شد.

**بررسی نتایج**

در بین طول‌های جغرافیایی '۵۴ °۵۸ و '۰۲ °۵۹ شرقی و در عرض‌های '۲۰ °۳۵ و '۲۶ °۳۵ شمالی در منطقه بایگ تربت حیدریه استان خراسان رضوی رخنمون‌هایی از آگات وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها با نام معدن عقیق بایگ شناخته می‌شود. منطقه بایگ براساس تقسیم بندی مرجع [۸] در پهنه ایران مرکزی و در تقسیم بندی مرجع [۹] در پهنه سبزوار قرار دارد. این منطقه در نقشه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی تربت حیدریه [۱۰] واقع است. مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب بازالت، آندزیت، پیروکسن آندزیت به همراه نهشته‌های آذرآواری با سن ائوسن و پلیوسن در منطقه بایگ گسترش وسیعی دارند [۱۰]. سنگ‌های آذرین در مجاورت سنگ‌های رسوبی کرتاسه و پیش آن قرار دارند (شکل ۱). ماده معدنی در سنگ‌های آندزیت بازالتی ائوسن در منطقه‌ای با گسترش تقریبی ۴/۰۵ کیلومتر مربع به صورت رگه‌ای و توده‌ای پراکنده بوده و به‌صورت روباز در حال استخراج است. ضخامت رگه‌ها از چند میلی‌متر تا بیش از ۳۰ سانتی‌متر و طول آن‌ها ۵ متر تا بیش از ۲۰ متر است. سنگ‌های آتشفشانی میزبان ماده معدنی در برخی موارد ساخت مشابه منشورهای بازالتی را نشان می‌دهد. به علت تفاوت رنگ سنگ‌های آذرین با ماده معدنی، آگات‌ها به خوبی قابل تشخیص هستند.

**کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی گوهرسنگ**

محلول‌های سیلیسی‌دار که به تدریج سرد و متبلور می‌شوند، کانی‌های نیمه‌قیمتی گروه سیلیس را به وجود می‌آورند [۱۱]. در معدن بایگ کانی‌های متفاوت نیمه‌قیمتی گروه سیلیس وجود دارند که دارای ویژگی‌های بافتی و ساختاری متفاوتی هستند. کانی‌های نیمه‌قیمتی معدن شامل آگات (عقیق)، ژاسپر و کوارتزهای رگه‌ای است (جدول ۱).




**شکل ۱** جایگاه و نقشه زمین‌شناسی محدوده بایگ (مستطیل) در نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه [۱۰].

**جدول۱** سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی کانی‌های گروه سیلیس معدن بایگ.

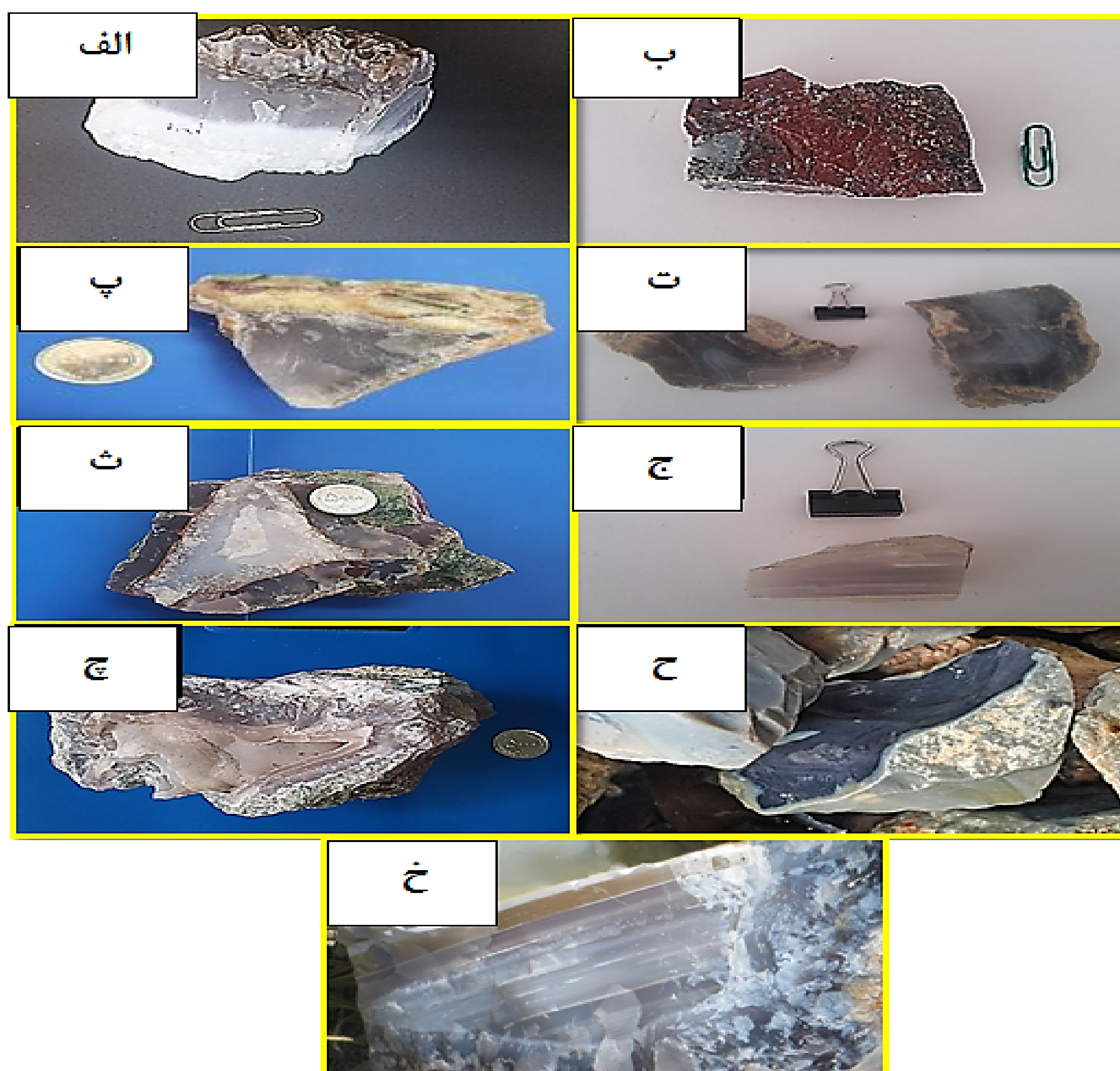
| ردیف | سنگ‌شناسی | کانی‌شناسی |
|---|---|---|
| ۱ | اوپال آگات | کلسدونی |
| | | اوپال |
| | | موگانیت |
| ۲ | ژاسپر | کلسدونی |
| ۳ | کوارتز | کوارتز |


[ DOI: 10.29252/ijcm.27.1.47 ]

براساس بررسی‌های ماکروسکوپی، میکروسکوپی، تصاویر SEM و طیف‌های رامان، آگات‌ها از نظر کانی‌شناسی از تناوب کانی‌های کلسدونی، اوپال و موگانیت تشکیل شده‌اند. ژاسپرها از کلسدونی و رگه‌های کوارتز از انباشت کانی کوارتز شکل گرفته‌اند. هنگامی که آگات‌ها بیشتر از تناوب کلسدونی و اوپال به عنوان کانی‌های اصلی سازنده تشکیل شده باشند، می‌توان آن‌ها را اوپال آگات نامید [۱۲].

کلسدونی معمولاً از تعداد زیادی از نوارهای سیلیسی ریزبلوری که کمتر از ۱ میکرومتر طول دارند و در اصل طول آن‌ها بین ۵۰ تا ۳۵۰ نانومتر است شکل می‌گیرند [۱۳]. نوارهای کلسدونی در جهت محور a {۱۱۰} کشیده می‌شوند [۱۴]. این کانی در نور قطبیده بافت الیافی را نشان می‌دهد.

در نمونه دستی، آگات‌ها معمولا رنگی نیستند، اما انواع سفید، بی رنگ تا خاکستری و تیره قابل مشاهده‌اند (شکل ۲). ژاسپرها به رنگ‌های سبز و قرمز دیده می‌شوند و نوع قرمز فراوان‌تر است (شکل ۲). رگه‌های کوارتز سفید هستند و به‌علت فراوانی کم، دارای ارزش گوهری کمتری هستند.




**شکل ۲** الف) کلسدونی سفید رنگ در کنار اوپال‌های خاکستری با ساختار نواری در معدن بایگ. ب) ژاسپرهای قرمز رنـگ معـدن بایـگ پ و ت) اوپال آگات‌های توده‌ای خاکستری معدن بایگ. ث) اوپال آگات‌های هم مرکز معدن بایگ. ج) اوپال آگات‌های روشن و نواری معدن بایگ. چ) اوپال آگات‌های هم‌مرکز دارای حفره داخلی در معدن بایگ. ح) نمونه اوپال آگات‌های مشابه معدن بایگ معرفی شده در استرالیا [۱۶،۱۵] خ) تناوب اپال و کلسدونی در معدن بایگ.


[ DOI: 10.29252/ijcm.27.1.47 ]

ساخت‌های توده‌ای، نواری و هم‌مرکز در آگات‌ها دیده می‌شود (شکل ۲). مشابه اوپال آگات‌های توده‌ای تیره بایگ (شکل ۲)، در استرالیا نیز گزارش شده‌اند [۱۵،۱۴]. در انواع نواری اندازه نوارها معمولاً از چند سانتی‌متر بیشتر نمی‌شود. در نمونه دستی، بخش‌های تشکیل شده از کلسدونی سفید رنگ و بخش‌های تشکیل شده از اوپال با جلای چرب و شمعی به رنگ‌های خاکستری روشن تا خاکستری تیره به تناوب در کنار هم قراردارند و به‌خوبی از یکدیگر تفکیک می‌شوند. موگانیت در نمونه دستی قابل تشخیص نیست. اوپال‌های معدن بایگ فاقد بازی نورهای رنگی هستند.

**سنگ‌نگاری ماده معدنی**

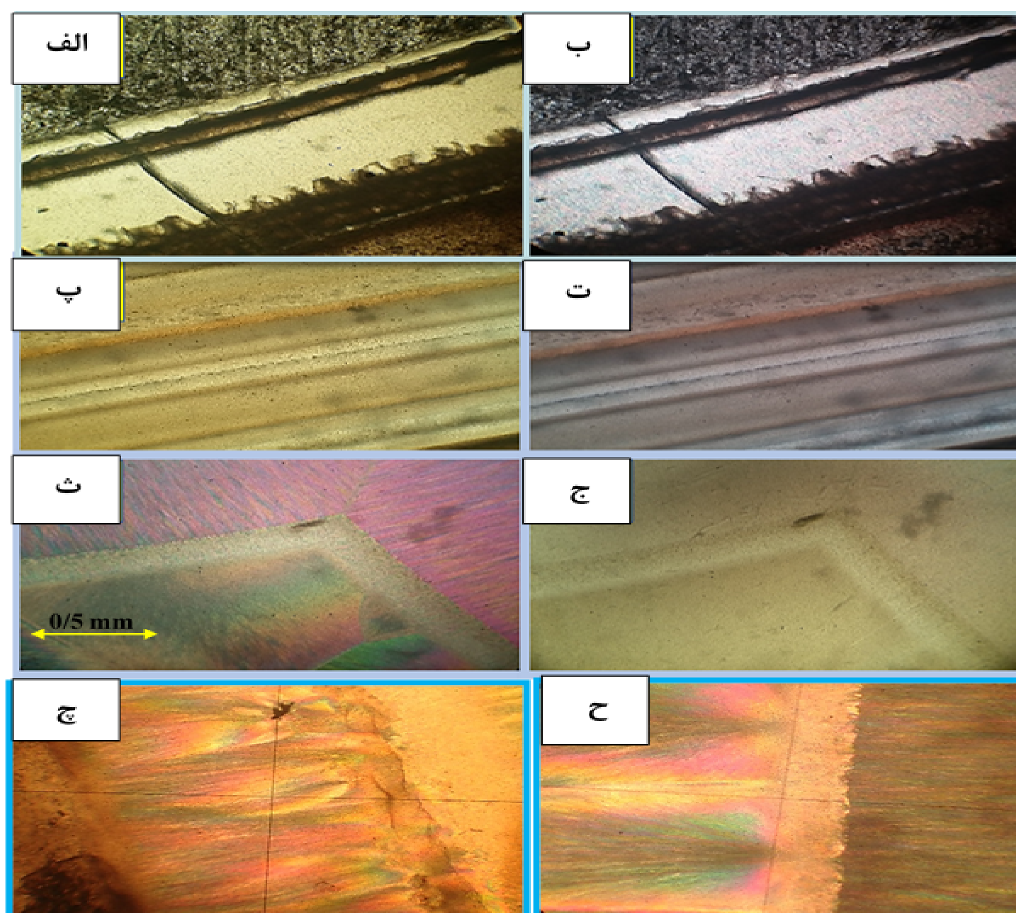
برای بررسی کانی‌های نیمه‌قیمتی منطقه مورد بررسی، ۱۲ مقطع نازک از آگات و یک مقطع نازک از ژاسپر تهیه و با میکروسکوپ قطبشی بررسی شدند.

**ویژگی‌های میکروسکوپی اوپال آگات:** آگات‌های معدن مورد بررسی از کلسدونی، موگانیت و اوپال تشکیل شده است که ویژگی‌های میکروسکوپی آن‌ها در ادامه می‌آید.

کانی کلسدونی در مقطع میکروسکوپی به‌صورت بافت‌های شعاعی، نواری و الیافی است (شکل ۳). کلسدونی در نور نیکول‌های موازی بی‌رنگ است و برجستگی کمی بیشتر از کوارتز را نشان می‌دهد. موگانیت با رنگ‌های دوشکستی بالاتر از کلسدونی‌های الیافی مشخص می‌شود (شکل ۳).

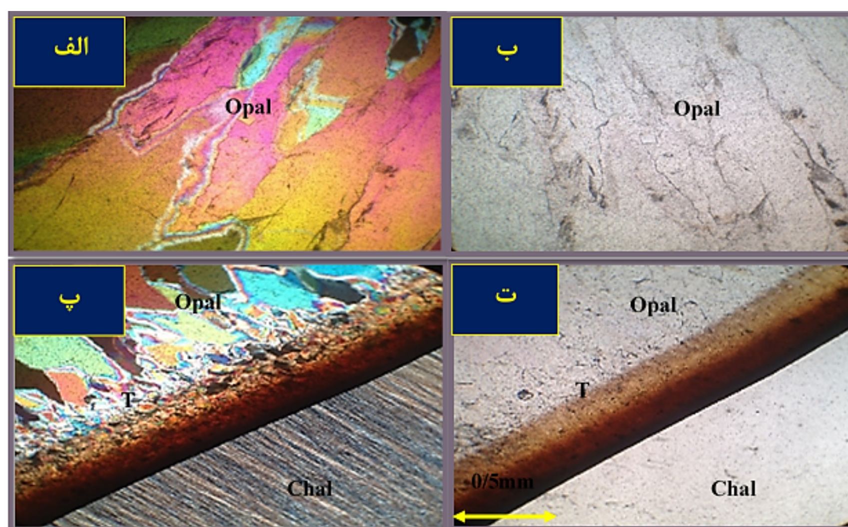
اوپال‌ها بافت تیغه‌ای شکل دارند. در برخی مقاطع هر دو نوع کلسدونی و اوپال دیده می‌شود و مقدار کمی نیز کوارتز وجود دارد (شکل ۴).

ویژگی‌های میکروسکوپی ژاسپرکلسدونی در ژاسپر در مقطع میکروسکوپی به‌صورت دانه‌های نسبتاً گرد و یا بی‌شکل، کدر و لکه‌ای ظاهر شده‌اند (شکل ۵). لکه‌ها می‌توانند نشان دهنده حضور هماتیت ($Fe_2O_3$) باشد.

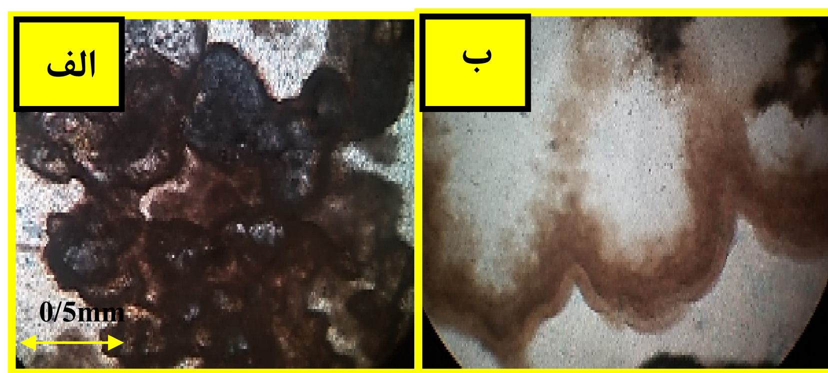



**شکل۳** الف- ت) کلسدونی با بافت نواری، ث و ج) کلسدونی با بافت شعاعی، چ و ح) کانی موگانیت. پیکان زرد مقیاس نمونه‌ها و ۰/۵ میلی‌متر است. تصاویر الف، پ، ث، چ و ح در نور قطبیده متقاطع (XPL) و تصاویر ب، ت و ج در نور قطبیده صفحه‌ای (PPL) تهیه شده‌اند.


[ DOI: 10.29252/ijcm.27.1.47 ]




**شکل ۴** الف و ب) ساختار تیغه‌ای در اوپال‌های منطقه، پ وت) کوارتز (Q)، اوپال (Opal) و کلسدونی (Chal). پیکان زرد مقیاس نمونه‌ها و ۰/۵میلی متر است. تصاویر الف و پ در نور XPL و تصاویر ب و ت در نور PPL تهیه شده‌اند.




**شکل ۵** الف) بافت لکه‌ای ب) بافت دانه‌ای در ژاسپرهای منطقه. پیکان زرد رنگ، مقیاس نمونه‌ها و ۰/۵ میلی‌متر است. تصاویر در نور XPL تهیه شده‌اند.

**بحث**

در دهه ۱۹۶۰ نتایج بررسی کانی‌های سیلیکا ($SiO_2$) توسط بیرو و همکاران [۱۷] جمع‌بندی و ارائه شد. آنها کانی‌های کوارتز، تریدیمیت و کریستوبالیت را به‌عنوان خانواده سیلیکا با فرمول $SiO_2$ معرفی کرد. این پژوهشگران سیستم بلوری، ساختار درونی، چندریختها و عناصر کمیاب موجود در این کانی‌ها را معرفی نمودند. کانی‌های گروه سلیکا از نظر ساختار و فرمول ساختاری متفاوت هستند. کلسدونی نوع نهان‌بلور کوارتز است، موگانیت نیز ریز بلور و دارای سیستم بلوری‌تک‌میل است. کریستوبالیت یکی از چندریخت‌های کوارتز با سیستم بلوری چارگوشی است که مقدار آب درون ملکولی آن کم، ولی مقدار آب بین‌ملکولی آن زیاد است. تریدیمیت دیگر چندریخت سیلیس است که سیستم بلوری آن ششگوشی و از نظر مقدار آب درون مولکولی و بین مولکولی بر عکس کریستوبالیت است.

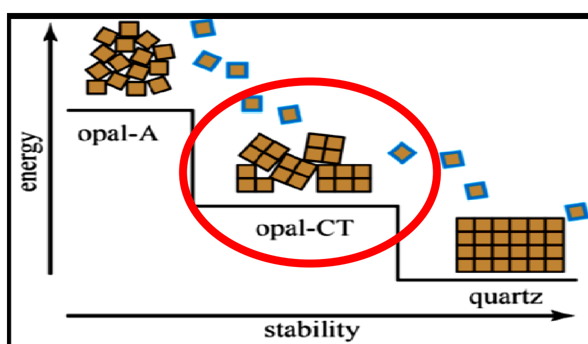
کوارتز کانی دیگر این گروه است که مقدار آب آن قابل توجه نبوده و بیشتر از $SiO_2$ ساخته شده و سیستم بلوری آن ششگوشی و فاقد آب درون مولکولی یا بین مولکولی در ساختار خود است.

در سال‌های اخیر با پیشرفت روش‌های تجربی، ساختار و انواع کانی‌های گروه سیلیکا بیشتر شناخته شده است. اوپال‌ها به‌عنوان کانی‌هایی از این گروه معرفی شدند که دارای آب هستند و بر اساس ویژگی‌های متفاوتی تقسیم‌بندی می‌شوند. از نظر گوهرشناسی اوپال‌ها به دو دسته با ارزش گوهری (که نور در آن‌ها بازی رنگ ایجاد می‌کند) و معمولی (بدون بازی رنگ) تقسیم می‌شوند [۱۸].

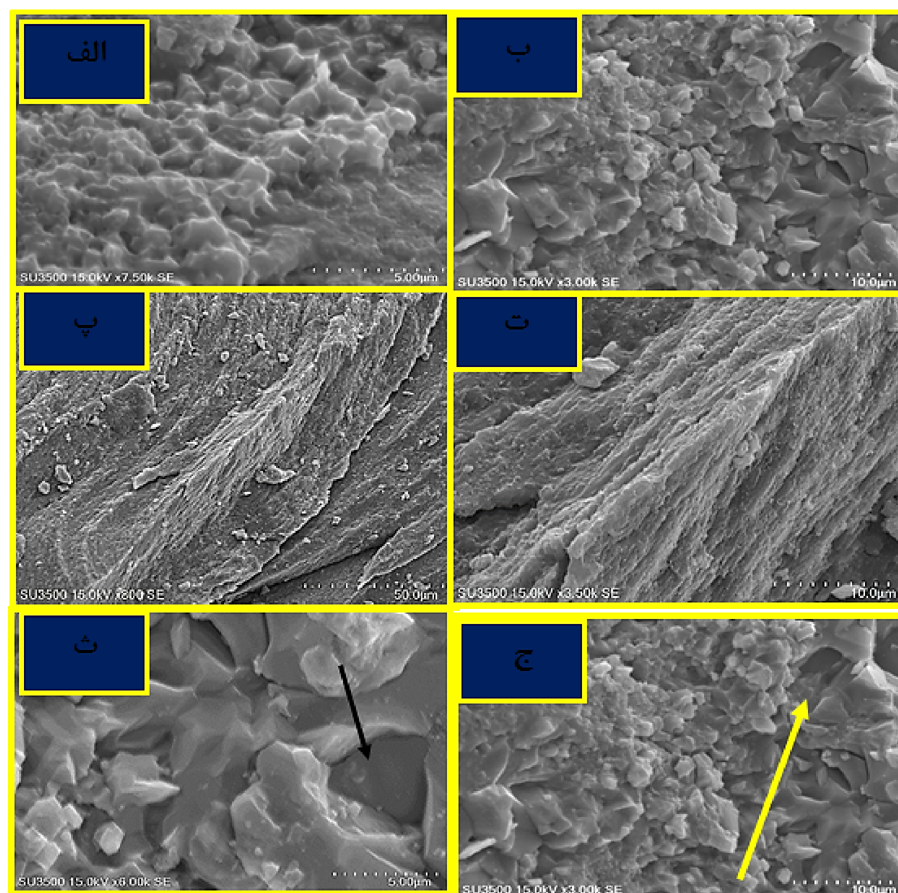
از نظر ساختاری، اوپال‌ها به انواع بی‌شکل (A) و نیمه بلورین کریستوبالیت - تریدیمیت (CT) و کریستوبالیت C تقسیم‌بندی شدند [۱۸]. البته نوع C عضو انتهایی محلول


[ DOI: 10.29252/ijcm.27.1.47 ]

جامد CT در نظر گرفته شده و از تقسیم‌بندی حذف می‌شود. مقدار آب اوپال بر اساس میزان فشردگی آن متغیر است. انواع A مقدار آب بیشتری نسبت به انواع CT دارند [۱۹]. اوپال‌های نوع A ساختار نامنظم دارند و انواع CT نیمه منظم هستند و باحذف آب، کوارتز ساختاری منظمی دارد (شکل ۶). اوپال آگات‌های منطقه در ساختار خود کانی تریدیمیت و کریستوبالیت دارند و از نوع CT هستند. تصاویر میکروسکپی و SEM نشانه‌های این نوع اوپال را در نمونه‌های معدن بایگ نشان می‌دهد. در تصاویر SEM تهیه شده از نمونه‌های اوپال آگات معدن بایگ، اوپال‌ها به‌صورت سطوح حفره‌دار و نیمه شکل‌دار هستند (شکل ۷). اوپال آگات‌ها ساختار ریزبلوری داشته و شکستگی‌های محدود زاویه‌داری دارند. با توجه به ساختار نیمه‌بلورین، اوپال‌ها می‌توانند از نوع CT در نظر گرفته شوند.




**شکل ۶** ساختار طرحواره‌ای از انواع اوپال‌ها [۲۰]. موقعیت اوپال‌های منطقه با دایره نشان داده شده است.



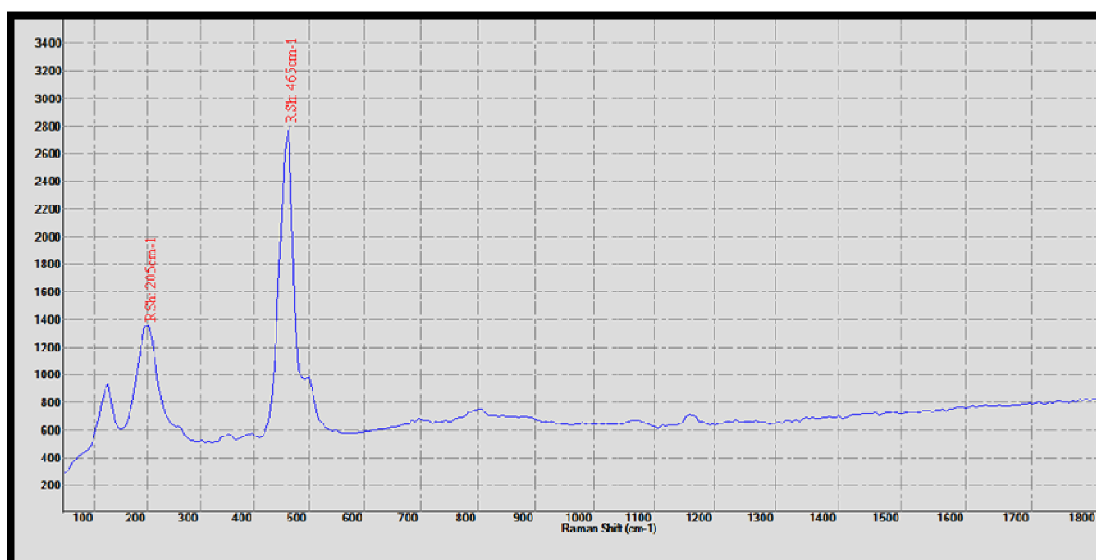

**شکل۷** تصاویر SEM اوپال و کلسدونی و موگانیت منطقه بایگ. الف و ب) اوپال‌ها به صورت سطوح حفره‌دار و نیمه شکل‌دار با ساختار ریزبلوری و فاقد شکستگی و درزه و شکاف هستند پ و ت) کلسدونی به‌صورت رشته‌ای، و ث و ج) موگانیت‌ها دارای شکستگی‌های زاویه‌دار هستند که با پیکان مشخص شده است.

یک نمونه اوپال آگات با دستگاه رامان آزمایشگاه گوهرشناسی دانشگاه شهید بهشتی بررسی شد. نتایج بررسی، حضور هر دو نوع کلسدونی و موگانیت را تایید نمود (شکل ۸). کلسدونی در نمودار رامان قله‌های نمایان و مشخصی را نشان می‌دهد. موگانیت با قله ظاهر شده در $۵۰۱\ cm^{-1}$ مشخص و معرفی می‌شود [۲۱]. اوپال به دلیل ساختار بی‌شکل، قله‌های خوبی نشان نداده و در طیف‌های رامان به‌سختی قابل تشخیص است.

به‌منظور تعیین ویژگی‌های شیمیایی، یک نمونه از بخش‌هایی که بیشتر از اوپال تشکیل شده است، برای تجزیه به روش ICP-MS به شرکت زرآزما فرستاده شد. که نتایج آن در جدول ۲ آمده است. مقادیر آلومینیوم، سدیم و استرانسیوم به ترتیب ۳۴۰ ppm، ۵۶۲ ppm و ۶/۵ ppm است. این مقادیر از عناصر می‌تواند پیامد شرایط حضور آب‌های جوی و گرمابی طی تشکیل اوپال‌ها باشد [۲۲]. مقدار عنصر Ba بسیار پایین‌تر از ۱۱۰ ppm است که نشان دهنده وجود فرآیند آذرین در هنگام شکل‌گیری اوپال‌هاست [۲۳].

**برداشت**

آگات (عقیق) یکی از سنگ‌های قیمتی است که در کشور از گسترش قابل توجهی برخوردار است. افزایش ارزش افزوده این سنگ نیمه‌قیمتی مستلزم ارتقای کیفیت تراش و بهسازی آن و در نتیجه شناخت بهتر ماهیت این سنگ است. بررسی آگات معدن بایگ در تربت حیدریه استان خراسان رضوی نشان داد که آگات‌ها به عنوان یک سنگ می‌توانند از کانی‌ها و فازهای مختلف گروه سیلیکا تشکیل شوند. رفتار هر یک از این فازها می‌تواند در تراش و بهسازی متفاوت باشد. آگات‌های معدن بایگ از کلسدونی، اوپال و موگانیت تشکیل شده‌اند. اوپال‌ها در آگات‌ها نسبت به فازهای دیگر مقدار بیشتری دارد و از نوع اوپال معمولی هستند که بازی رنگ نشان نمی‌دهند. نتایج برآمده از طیف‌سنجی رامان نشان داد که قله طیف‌های کلسدونی و موگانیت نمایان بوده و این دو کانی بخوبی با این روش قابل تفکیک هستند. این پژوهش نشان داد که علاوه بر کلسدونی، اوپال نیز می‌تواند یکی از سازنده‌های اصلی آگات‌های معادن کشور باشد. بهسازی آگات برای افزایش ارزش اقتصادی آن بسیار متداول است. رفتار کلسدونی و اوپال در برابر انواع بهسازی متفاوت است و شناخت کانی‌شناسی آگات‌های معدن بایگ و سایر معادن کشور می‌تواند راهنمایی برای انتخاب روش صحیح بهسازی برای افزایش ارزش افزوده آن‌ها باشد.




**شکل ۸** نمودار رامان نمونه آگات معدن بایگ. کلسدونی با قله‌های آشکار و موگانیت با یک قله ظاهر شده در $۵۰۱\ Cm^{-1}$ تشخیص داده می‌شوند.

**جدول ۲** نتایج تجزیه نمونه آگات معدن بایگ به روش ICP-MS.

| عناصر | ppm | عناصر | ppm | عناصر | ppm |
|---|---|---|---|---|---|
| Al | 340 | Fe | 7814 | P | 38 |
| Ba | 19 | Mn | 127 | Pb | 2 |
| Ca | 698 | Na | 562 | Sr | 6.5 |
| Cr | 14 | K | 123 | Zn | 8 |
| Cu | 12 | Ni | 7 | MO | 4.4 |


[ DOI: 10.29252/ijcm.27.1.47 ]

**قدردانی**

این مقاله بخشی از نتایج پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده اول مقاله است که بدین‌وسیله از مسؤولین معدن بایگ در شهرستان تربت حیدریه که در نمونه‌برداری و تهیه نمونه‌ها همکاری داشتند و نیز کارشناسان موسسه توسعه گوهرشناسی ایران و مرکز گوهرشناسی دانشگاه شهید بهشتی ایران برای انجام آزمایش‌های گوهرشناسی و رامان قدردانی می‌شود.

**مراجع**

[1] Merino E., "*Survey of geochemical self-patterning phenomena*", in Nicolis G., Baras F., eds., Chemical instabilities: Applications in Chemistry, Engineering, Geology, and Materials science, NATO Advanced Science Series C. 120: Reidel, Dordrecht, (l984) 305–328.

[2] Merino E., Wang Y., "*Self-organization in rocks*: *Occurrences, observations, modeling, Testing—with emphasis on agate genesis*", in Krug H.J., Kruhl J. H., eds., Non-equilibrium Processes and dissipative structures in geosciences, Yearbook “Self-Organization”. 11: Duncker & Hum blot, Berlin, (2001) 13–45.

[3] Merino E., Wang Y., Deloule E., "*Genesis of agates in flood basalts: Twisting of chalcedony fibers and trace-element geochemistry*" American Journal of Science, 295 (1995) 1156–1176.

[4] Bryxina N.A., Halden N.M., Ripinen O.I., *"Oscillatory Zoning in an Agate From Kazakhstan:Autocorrelation Functions and Fractal Statistics of Trace Element Distributions",* Mathematical Geology, Vol. 34, No. 8 ( 2002) 915-927.

[5] Wang Y., Merino E., " *Origin of fibrosity and banding in agates from flood basalts*" American Mineral. 295 (1995) 49–77.

[6] Heaney P.J., Veblen D.R, Post J.E., "*Structural disparities between chalcedony and macro crystalline quartz*", American Mineralogist, 79 (1994) 452-460.

[7] French M.W., " *Quartz growth: understanding porosity-preserving microcrystalline quartz through EBSD, TEM, and NanoSIMS examination of low temperature silica*", University of Liverpool. PhD thesis, (2012) 175P.

[8] Stocklin J., *"Structural history and tectonics of Iran*". A review American. Assoc. Petroleum geologist's bull., 25, 7 (1968) 1229-1258.

[9] Alavi M., *"Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran"*. Geol. Soc. America Bulletin, 103 (1991) 983-992.

[10] Vaezipour M.J., Alavi Tehrani N., Behroozi A., Khaleqi M.H., *"Geological map 1: 250,000 Turbat Heydarieh"*, Geological Survey of Iran, Tehran (1991).

[11] Zakaya Y., *"*Gems (in persaion)*"*, Avicenna, Tehran (1967).

[12] Manutchehr-Danai M*., "Dictionary Gems and Gemology",* Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York (2009) 1034.

[13] Heaney P.J., "*A proposed mechanism for the growth of chalcedony*". Contributions to Mineralogy and Petrology, 115 (1993) 66- 74.

[14] Graetsch H., Ibel K., *"Small angle neutron scattering by opals",* Physic. Chemistry. Minerals, 24 (1997) 102–108.

[15] Sanders J.V., "*Color of precious opal*", Nature, 204 (1964) 1151–1153.

[16] Sanders J. V. "*Diffraction of light by opals*". Acta Crystallographica, A24 (1968) 427–434.

[17] Deer W.A., Howie, R.A., Zussman J., "*Rock-Forming Minerals*", Longmans, London, (1963) 435.

[18] Jones J.B., Segnit E.R., "*The nature of Opal I. Nomenclature and constituent phases*". Journal of the Geological Society of Australia, 18 (1971) 57–68.

[19] Day R., Jones, B., "*Variations in water content in Opal-A and Opal-CT from Geyser discharge aprons*", Journal of Sedimentary Research., 78 (2008) 301–315.

[20] Dralus D., Lewan M.D., Peters K. "*Kinetics of the Opal-A to Opal-CT Phase Transition in Low- and High-TOC Siliceous Shale Source Rocks*", BPSM Annual Meeting, Stanford, California, (2014).

[21] Fateley W.G., Dollish F.R., McDevitt N.T., Bentley F.F., "*Infrared and Raman selection rules for molecular and lattice vibrations: The correlation method*", December 2015 issue of *Spectroscopy* ® www.spectroscopyonline.com.

[22] Lynne B.Y., Campbell K.A., "*Morphologic and mineralogical transitions from opal-A to opal-CT in low-temperature silica sinter digenesis, Taupe Volcanic Zone, New Zealand",* Journal of Sedimentary Research, 4 (2004) 561-579.

[23] Ghisoli C., Caucia F., Marinoni L., " *XRPD patterns of opals*: *a brief review and new Results from recent studies"*, Powder Diffraction, 25 (2010) 274-282.



[ DOI: 10.29252/ijcm.27.1.47 ]